ACCADEMIA DELLE SCIENZE DI TORINO

CELEBRAZIONE DEL IV CENTENARIO DELLA NASCITA DI KEPLERO

TORINO, 2 FEBBRAIO 1972

ACCADEMIA DELLE SCIENZE DI TORINO

CELEBRAZIONE DEL IV CENTENARIO DELLA NASCITA DI KEPLERO

TORINO, 2 FEBBRAIO 1972

INDICE

Saluto del Presidente dell'Accademia delle Scienze di Torino

Prof. Augusto Guzzo

Sono lieto di portare il saluto dell'Accademia delle Scienze di Torino ai tre Accademici che prenderanno la parola questa sera, e a tutti gli Accademici e alle Signore e Signori che ci hanno favoriti della loro presenza: tanto più lieto, quanto più la manifestazione di questa sera converge con un mio programma di studio che ho io stesso perseguito quanto ho potuto, ma che soprattutto ha ispirato l'attività di studiosi che ebbi l'onore di avere alla mia scuola e della cui costante amicizia particolarmente mi onoro: tra essi, Vittorio Mathieu, che già ascoltammo in questa sala lo scorso 14 dicembre e che fin dalla tesi di laurea — luglio 1946 — guardò alla scienza per meglio e più concretamente filosofare, onde la sua massima opera teoretica, *L'oggettività nella scienza e nella filosofia moderna e contemporanea*, pubblicata appunto dalla nostra Accademia nel 1960, studia il particolare concetto di «oggettività» professato dalla scienza ben oltre, anzi contro, il concetto comune e volgare di essa; e Francesco Barone, professore di filosofia teoretica nella Università di Pisa, dedicatosi da specialista agli studi di filosofia della scienza. Il suo tema questa sera suona: «Aspetti filosofici del pensiero di Keplero».

Ma sono soltanto «aspetti filosofici»? Era Keplero uno schietto scienziato, che avesse *anche* interessi filosofici? O questa è una prospettiva adottata da scienziati moderni, propensi a sceverare nell'opera di Keplero un nucleo seriamente scientifico da un contorno di pensamenti senza conseguenze nella scienza?

La questione non riguarda soltanto Keplero. Colui al quale Keplero scriveva, senza peraltro ottenere che s'impegnasse in una approfondita lettura dei suoi scritti, Galileo Galilei, era, a sua volta, uno schietto scienziato, le cui scoperte scientifiche siano da tesoreggiare, mentre i suoi interessi di «filosofo naturale» non meritano altrettanta considerazione?

Completerò la triade ricordando Isacco Newton, che fin dal titolo della più celebre sua opera parlò di «filosofia naturale», mentre l'esposizione e volgarizzazione che ebbe corso nel Settecento e più tardi enucleò una pura «scienza» newtoniana, lasciando nell'ombra la filosofia di quel grande.

Eppure Galileo a nessun titolo tenne più che a quello di «filosofo naturale», e c'è il newtonismo alla base di filosofie come la lockiana. Né si può dimenticare che oggi — dopo tanto impegno otto e novecentesco per sceverare una «scienza», indubbiamente seria, da una «filosofia» che sia, nel migliore dei casi, opinabile — i massimi scienziati dichiarano apertamente che la loro, oggi, è filosofia naturale. E voglio ricordare questa sera in questa sala, Giovanni Polvani, insigne Socio della nostra Accademia, giunto chiaramente alla consapevolezza che oggi è, di nuovo, «filosofia naturale» quella che ieri credeva di poter essere nient'altro che «scienza».

Per ritornare a Keplero e non ritardare più oltre l'ascolto, a cui ci accingiamo, della parola di Cataldo Agostinelli, Francesco Barone e Giuseppe Colómbo, mi domanderò ancora: la «filosofia» di Keplero — quella che così poco si conquistava la fiduciosa attenzione di Galileo, pur tanto «filosofo» la sua parte — era ganga inessenziale che si possa e si debba lasciar cadere per far brillare di luce schietta la «scienza» di Keplero, o era la matrice, senza la quale Keplero non sarebbe giunto a quella che consideriamo la schietta sua «scienza»? o è la «filosofia» di Keplero quella che dà il vero significato alle sue scoperte scientifiche?

Su tutto questo, ascolteremo gli Accademici che prenderanno la parola questa sera. Che se la «filosofia» di quei massimi scienziati risultasse dar essa il vero significato alla loro

scienza, bisognerebbe forse rinunziare a considerarli, nella storia della scienza, come puri scienziati, e nella storia della filosofia, più o meno attentamente, per gli «aspetti filosofici» del loro pensiero, e, unificando le due considerazioni, prepararci a scrivere e a professare la storia di quella «filosofia naturale» che nel seno stesso della generale filosofia produsse quei principi «scientifici» che è parso di poter pregiare a parte dal pensiero filosofico che rese possibile scorgerli e fissarli.

Ma a noi giova — posto termine al cordiale saluto che l'Accademia delle Scienze, per mio mezzo, vi ha porto — ascoltare la parola degli Accademici oratori di questa sera.

Della vita e dell'opera astronomica di Giovanni Keplero.

Discorso del Socio nazionale residente CATALDO AGOSTINELLI.

Sin dai primordi dell'umanità lo spettacolo dell'Universo stellato e la sua perfetta armonia hanno affascinato l'uomo, e la sua mente è stata irresistibilmente spinta a scrutare il movimento degli astri, a fissarne le leggi e a condizionare la sua vita al mutare periodico dell'aspetto del cielo. È nata così l'Astronomia, la prima delle scienze coltivate dall'uomo, che, fondata all'inizio su idee primitive, e pervasa di misticismo e di influsso religioso ebbe il suo primo e vero sviluppo fra i babilonesi, e poi fra i greci, culminando, nel 2º secolo d. C., nell'opera magnifica del grande alessandrino Claudio Tolomeo, nota sotto il nome di « Sistema matematico del mondo », o « Almagesto », nella quale, sulla base di osservazioni ed idee dei maggiori astronomi precedenti, e soprattutto di un altro grande astronomo, Ipparco, vissuto circa 300 anni prima, espone una completa teoria geometrica dei moti planetari.

Ma questa scienza del movimento dei corpi celesti non ha avuto e non ha soltanto un interesse speculativo, perché essa ha facilitato l'opera di altre scienze più direttamente utili all'uomo, come quella che riguarda la navigazione marittima. Però essa è soprattutto utile poiché le stelle che noi contempliamo non solo ci inviano quella luce visibile che illumina i nostri occhi, ma da esse ci viene una luce ben più sottile che rischiara il nostro spirito. E come dice Poincaré in « La valeur de la Science »: l'Astronomia è utile perché ci eleva al disopra di noi stessi. Essa ci mostra come l'uomo è piccolo per il corpo e quanto è grande per lo spirito, poiché questa immensità splendente

*

ove il suo corpo non è che un punto oscuro, la sua intelligenza può abbracciarla tutta intera e gustarne la silenziosa armonia. Questa armonia fu spiccatamente sentita da Giovanni Keplero, che, affascinato da essa, pur con idee strane, e a volte assurde, fondate su concetti mistici, con molte deviazioni di carattere astrologico, riuscì ,dopo calcoli lunghi e faticosi, a stabilire le vere ed ammirevoli leggi del movimento dei pianeti.

Keplero nacque a Weilderstadt, nel Würthermberg, il 27 dicembre 1571, quasi un secolo dopo Copernico (1473-1543), da genitori protestanti di povera condizione, che poco ebbero cura di lui. Venuto alla luce di sette mesi, colpito a quattro anni dal vaiolo e più tardi da altre malattie, crebbe gracile e inadatto ai lavori materiali, ai quali i parenti volevano destinarlo. Queste circostanze e l'aver egli ben presto rivelato eccezionali doti di ingegno, fortunatamente determinarono diversamente il suo destino, e, malgrado le strettezze in cui viveva la famiglia, fu avviato agli studi con lo scopo di fargli percorrere la carriera di pastore protestante. In essi presto si distinse in modo tale da poter entrare a spese dello stato nel seminario di Tubinga, centro famoso di studi universitari. Ivi nel 1591 ottenne dalla facoltà di filosofia un primo diploma con un attestato dei più lusinghieri, proseguendo quindi gli studi nella facoltà di teologia. Contemporaneamente seguiva le lezioni del matematico ed astronomo P. Michele Mästlin (1550-1631), il quale soleva intrattenere privatamente i migliori allievi su questioni che il tempo ristretto, o divieti superiori, non gli permettevano di esporre dalla cattedra. Fra questi allievi il Keplero fu il prediletto, che dal Mästlin fu introdotto e convertito al sistema copernicano, che allora era avversato anche dalla religione luterana.

Egli allora, poco disposto a nascondere le proprie convinzioni, e palesatosi quindi pubblicamente copernicano, non sentendosi più adatto alla carriera ecclesiastica, abbandonò la

teologia e fu spinto ad accettare nel 1594 la nomina a professore di matematica nel ginnasio di Graz in Stiria. Quivi egli dovette occuparsi anche della compilazione di almanacchi annui, molta parte dei quali era dedicata alle predizioni astrologiche. Il Keplero si occupò intensamente di quest'arte, e, con raffronti continui fra il posto occupato dagli astri e gli eventi che gli erano noti, cercò di portare ad essa i propri contributi. Tuttavia egli era conscio delle fragili basi dell'astrologia, e la continuò a professare non soltanto perché allora era imposta dall'uso, ma anche perché gli permetteva guadagni che in parecchi momenti della sua vita valsero a toglierlo dai più gravi imbarazzi finanziari.

Invero se Keplero e Tycho Brahe hanno potuto vivere è perché essi vendevano a dei re ingenui e semplici delle predizioni fondate sulle congiunzioni degli astri. Sotto questo punto di vista si può dire che l'astrologia sia stata utile all'umanità. Se quei principi non fossero stati così creduloni forse noi continueremmo a credere che la natura obbedisca al capriccio e stagneremmo ancora nell'ignoranza.

Il Keplero, fortunato nelle prime predizioni, ebbe subito come astrologo ottima reputazione. Ma quelle ricerche che non potevano dare seri frutti per lo scopo al quale miravano, ne diedero invece di interessanti per la scienza astronomica, almeno come era concepita allora, tanto che il suo nome cominciò ad essere noto anche tra i maggiori astronomi dell'epoca.

Dotato di esuberante fantasia egli concepì ipotesi ardite e correlazioni utopistiche fra enti di natura diversa, accoppiando la sua percezione nelle più riposte leggi della natura alle più stravaganti vedute. Questo suo modo di concepire le cose e l'influenza religiosa che gli restava fissa nella mente lo portarono a ricercare nell'armonia del Creato, alcune leggi che egli riteneva dovessero certamente esistere in relazione a circostanze e fatti terreni. Così nel 1596, a soli 24 anni il Keplero pubblicava la sua prima opera da un lungo titolo, che viene ricordata con le parole iniziali: *Mysterium cosmographicum,* nella quale egli dà innanzitutto una chiarissima esposizione della teoria copernicana,

mostrandone i vantaggi rispetto alla teoria tolemaica. Ma essa, che rivela la strana natura del pensiero di Keplero, è particolarmente destinata a dimostrare una pretesa relazione tra le distanze dei pianeti dal Sole e i cinque poliedri regolari. Se consideriamo sei sfere concentriche, di raggi tali che il cubo inscritto nella prima, la maggiore, sia circoscritta alla seconda; che il tetraedro inscritto in questa sia circoscritto alla terza, e così successivamente per il dodecaedro, l'icosaedro e l'ottaedro regolari, il Keplero dimostra che i rapporti dei raggi di queste sei sfere sono in stretto accordo con i rapporti delle distanze dal Sole dei sei pianeti fino allora conosciuti: Saturno, Giove, Marte, Terra, Venere e Mercurio, distanze quali erano date da Copernico. Questa singolare concezione, destinata a crollare con la scoperta di nuovi pianeti, o con valori più esatti delle distanze planetarie, non poteva però allora non colpire ed ebbe notevole successo. Tuttavia è da osservare che per quanto le idee di Keplero possano sembrare oggi molto fantasiose, pure esse, tenendo impegnata la sua attenzione per tutta la sua vita, gli dettero senza dubbio l'energia per compiere le sue grandi scoperte.

Nel *Mysterium cosmographicum* il Keplero accenna ancora ad un'altra fantasiosa teoria, secondo la quale il rapporto tra la velocità massima e minima dei pianeti nelle loro orbite doveva essere armonico nel senso musicale, teoria che poi riprese più tardi e più in disteso nell'altra opera *Harmonices Mundi*, pubblicata circa venti anni dopo, e che lo portò alla scoperta della terza legge relativa al moto dei pianeti.

Il Keplero si affrettò ad inviare una copia del suo *Mysterium cosmographicum* sia al celebre astronomo danese Tycho Brahe (1546-1601), comunemente chiamato Ticone (1), che dalla Danimarca nel 1597 era passato in Boemia coi suoi istrumenti come matematico e astronomo dell'imperatore Rodolfo II, e sia a Galileo (1564-1642) a Padova, che di Keplero era più

(1) Dal nome latino Tychonis Brahei.

anziano di sette anni. Galileo gli fu pronto nella risposta, quando appena aveva letto l'introduzione, esprimendogli il suo grande compiacimento di corrispondere con un collega ed amico, il quale come lui voleva indagare e raggiungere la verità, abbandonando la via dell'antico filosofare. Egli confessava di essere divenuto già da molti anni un copernicano convinto e di avere così scoperto le ragioni di molti avvenimenti naturali, che in altro modo non si potevano spiegare. Non aveva osato pubblicarli, ben sapendo quanto era accaduto a Copernico e temendo di essere deriso. La risposta di Ticone gli pervenne più tardi, circa un anno dopo. Essa lo avrebbe colmato di gioia se non fosse stata seguita subito da una eclissi di Sole che presagiva molte disgrazie. Tuttavia Tycho gli consigliava di lasciare queste speculazioni oziose, per esaminare le osservazioni che egli apprestava. Inoltre lamentava che Keplero avesse preso per base delle sue ricerche il sistema di Copernico e finiva per invitarlo a recarsi presso di lui.

Keplero non mostrò dapprima molta premura, poiché indubbiamente temeva di mettersi nella dipendenza di un astronomo da cui era lontano dal condividere le opinioni. Ma a causa del bando contro i protestanti, Keplero per sfuggire alle persecuzioni religiose ai primi del 1600 fu costretto ad abbandonare Graz e a cercare rifugio con la sua famiglia nel castello di Benatek in Boemia, nelle vicinanze di Praga. Fu allora che, in seguito a nuovo invito di Tycho, il Keplero colse l'occasione di fargli una visita e alcuni mesi più tardi a stabilirsi a Praga presso di lui, in qualità di aiuto. Questa convivenza dal punto di vista umano non fu molto facile per Keplero, poiché, come egli stesso nota, Tycho era un uomo col quale non si poteva vivere senza esporsi ai più grandi insulti. Ma egli non dovette subire molto a lungo tali insulti poiché Tycho moriva nel 1601, e ne diventava il successore essendo stato chiamato dall'imperatore Rodolfo come matematico di corte, incaricato di condurre a termine e pubblicare le tavole iniziate da Tycho e che sono state chiamate Rodolfine. Così egli poté

avere a disposizione tutte le preziose osservazioni di Ticone, che gli servirono a stabilire, con le sue famose scoperte, la vera teoria del movimento dei corpi del distema solare.

***

Dopo l'*Almagesto* di Tolomeo, e fino al tempo di Copernico, per circa quattordici secoli l'Astronomia non fece alcun progresso significativo. La teoria geocentrica di Tolomeo si fondava sull'ipotesi fondamentale che la Terra doveva essere immobile al centro del mondo e che tutti i movimenti celesti dovevano essere dei moti circolari uniformi. Invero, secondo idee espresse principalmente da Platone, i corpi celesti dovevano essere composti di una materia quasi eterea e perfettamente diversa dalla materia terrena, quindi essi dovevano necessariamente descrivere delle orbite circolari, giacché secondo i greci il cerchio è l'unica curva perfetta.

Ma per conciliare queste idee con i moti osservati per il Sole e la Luna, che non dimostrarono una velocità angolare uniforme, Tolomeo non fa coincidere con la Terra il centro del cerchio descritto dal Sole, ma lo pone, secondo l'immagine di Ipparco, un poco spostato in modo che il moto angolare apparente del Sole si presenta a volte più veloce (quando il Sole è più vicino alla Terra), a volte più lento (quando è più lontano). Un tale circolo veniva chiamato *eccentrico* e con le osservazioni si poteva così determinare il *perigeo* e l'*apogeo* dell'orbita, e quindi l'*eccentricità*.

Ma per i pianeti la semplice disposizione del circolo eccentrico non poteva bastare, poiché nel moto apparente l'orbita geocentrica di un pianeta è simile ad una epicicloide (accorciata), in cui ad ogni anno corrisponde un cappio, così che il moto ora appare diretto e ora retrogado, separato da punti di sosta. Perciò Tolomeo immagina, secondo idee tramandate da Eudossio e da Ipparco, che il moto di ciascuno dei pianeti sia quello risultante di due moti circolari e precisamente sulla

circonferenza di un circolo maggiore, eccentrico rispetto alla Terra, chiamato *deferente,* si muove il centro di un circolo minore chiamato *epiciclo;* la cui circonferenza è a sua volta percorsa dal pianeta. Sull'epiciclo il moto del pianeta era supposto uniforme, mentre per il centro dell'epiciclo si ammetteva un moto variabile sul deferente, e precisamente massimo al perigeo e minimo all'apogeo. In tal modo si poteva ancora mantenere il carattere di uniformità angolare del moto intorno a un certo punto detto *equante,* posto sulla linea degli absidi al di là del centro del deferente rispetto alla Terra.

Così Tolomeo riuscì a spiegare, anche quantitativamente, i movimenti dei pianeti entro i limiti di precisione delle osservazioni di allora. In qualche caso che non si accordava del tutto con le osservazioni, dovette introdurre anche un secondo epiciclo più piccolo del primo e col centro mobile sulla periferia di questo.

In complesso questa combinazione dei due o tre moti circolari, anche se oggi appare molto artificiosa, risolveva il problema della determinazione delle posizioni osservate dei pianeti e del calcolo delle loro posizioni nel passato e nel futuro, e l'ingegnosità di questi modelli non può non suscitare la nostra ammirazione.

Sebbene autori antichi come Pitagora e i suoi discepoli ritenessero la Terra non fissa, ma mobile, e che già Cleante di Samo e poi Aristarco, che fu contemporaneo di Archimede, avessero concepito un moto eliocentrico dei pianeti, pure le loro teorie sopravvissero solo in seguito ad accenni casuali trovati in alcuni scritti di altri autori, mentre le idee di Tolomeo sull'immobilità della Terra al centro dell'Universo poterono trionfare per secoli e secoli e ciò per cause diverse fra le quali il decadimento dell'impero romano che determinò in occidente la dimenticanza quasi completa del bagaglio scientifico de greci, e l'interpretazione integrale e letterale da parte della

Chiesa delle Sacre Scritture, che riportavano ingenue nozioni astronomiche.

L'idea del moto eliocentrico dei pianeti poté farsi definitivamente strada soltanto quando il canonico Nicolò Copernico (Nicolaus Koppernigk), nato a Thorn sulla Vistola il 19 febbraio 1473, ebbe elaborata la completa teoria del nuovo sistema che ci ha tramandato con la sua opera immortale *De Revolutionibus Orbium Coelestium,* apparsa nell'anno della sua morte 1543.

I principi fondamentali del sistema copernicano sono basati come si sa sulla concezione che il moto di rotazione diurna del dielo è soltanto apparente e causato dalla rotazione diurna della Terra sferica intorno a un asse passante per il suo centro. Inoltre la Terra è pur essa un pianeta e come gli altri gira intorno al Sole, che è il vero centro del movimento. Ma Copernico mantiene ancora l'assioma dei moti planetari circolari uniformi su circoli eccentrici rispetto al Sole, mentre la Luna si muove su un circolo eccentrico intorno alla Terra.

Il sistema eliocentrico copernicano trovò molti oppositori, per la maggior parte teologi, che combattevano la nuova teoria con argomenti poco scientifici. Il fatto che costituì l'obiezione principale fu la circostanza che il passaggio della Terra da un punto della sua orbita al punto diametralmente opposto non causava alcuna variazione nelle direzioni delle stelle, la qual cosa indusse Copernico a ritenere le stelle fisse a una distanza grandissima, o meglio a supporre piccolissimo e inaccessibile alle misure del suo tempo l'angolo sotto cui è visto da una stella fissa il diametro dell'orbita terrestre, cioè la parallasse annua.

Uno dei più grandi oppositori fu Tycho Brahe, che ideò un sistema proprio nel quale i pianeti giravano ancora intorno al Sole, mentre il Sole con tutto il corredo dei pianeti doveva girare intorno alla Terra, sistema che dopo l'invenzione del cannocchiale e le grandi scoperte di Galileo si rivelò fallace e dovette essere abbandonato. Ma Ticone, insuperabile osservatore, con le sue osservazioni preziosissime, continuate e registrate per circa venti anni, aveva preparato la strada alle scoperte del suo successore Keplero.

Alla morte di Tycho, trovatosi il Keplero in possesso del migliore corredo di osservazioni che si fosse mai avuto nella storia dell'Astronomia, subito si accinse a vagliare questo materiale e a controllare la validità del sistema copernicano; ma al pari di Copernico egli in un primo tempo ritenne che le orbite dei pianeti fossero circolari. Il Keplero si pose innanzitutto il problema di determinare la vera orbita della Terra rispetto al Sole, e data la piccola eccentricità di quest'orbita gli parve che la Terra seguisse esattamente la costruzione di Tolomeo. Successivamente il Keplero volse la sua attenzione al pianeta Marte, che tanto aveva dato da fare in tutti i tempi e al quale Ticone aveva dedicato cure particolari, sicché su di esso aveva raccolto, per quasi un quarto di secolo, un numero abbondantissimo di osservazioni. E questa fu per Keplero una scelta fortunata per il fatto che il pianeta Marte si può molto avvicinare alla Terra e per avere la sua orbita una eccentricità molto forte. Egli escogitò allo scopo un metodo ingegnoso, basato sulla conoscenza esatta della durata di rivoluzione del pianeta intorno al Sole.

Poiché la vera forma dell'orbita poteva risultare solo da un'insieme di numerose posizioni eliocentriche del pianeta, che non sono osservabili dalla Terra, fu costretto a determinarle indirettamente, operando una specie di triangolazione celeste. Cionondimeno, dopo lunghi calcoli e operazioni penose, non gli riuscì di rappresentare le osservazioni con l'esattezza che ad esse giustamente attribuiva. Nei divari fra le posizioni calcolate e quelle osservate, che raggiungevano circa gli otto primi di angolo, il Keplero riconobbe l'esistenza di qualche errore, che certamente non poteva essere attribuito alle osservazioni di Ticone, poiché, come afferma lo stesso Keplero, «la divina bontà ha dato a noi in Tycho Brahe un osservatore molto accurato».

Lo stesso Keplero dice che il suo primo errore fu di credere che il cammino del pianeta fosse un cerchio perfetto, convinzione questa che era appoggiata dal consenso di tutti i filosofi e che sembrava più conforme alla metafisica. Fu questo principio

metafisico che causò tutti gli imbarazzi di Keplero e di tutti gli astronomi che l'avevano preceduto.

L'idea semplice e geniale che alfine gli permise di studiare bene ad un tempo, sia l'orbita della Terra che quella di Marte, consistette nello scegliere gruppi di osservazioni di questo pianeta fatte a intervalli di tempo multipli del periodo ben noto, durante il quale esso compie una rivoluzione intorno al Sole. Ad ogni periodo il pianeta ritorna all'identico posto e questo posto e il Sole costituiscono due punti fissi ai quali può venire riferita la posizione della Terra in ogni gruppo di osservazioni. In tal modo il Keplero trovò che il moto della Terra è sufficientemente bene rappresentato su un cerchio il cui centro è discosto dal Sole di 0,018 del suo raggio. Con questo metodo determinò anche il rapporto tra la distanza di Marte dal Sole e il raggio dell'orbita terrestre e ripetendo l'operazione per diversi gruppi di osservazioni egli ottenne un certo numero di punti dell'orbita di Marte arrivando alla conclusione che quest'orbita doveva essere una ovale. Il Keplero si applicò lungamente allo studio di questa ovale, trascinandosi in ricerche e calcoli faticosi e infruttuosi. Soltanto più tardi, dopo un ritorno pure vano all'ipotesi che l'orbita sia un circolo, si determinò per l'ellisse che è l'ovale più regolare e più facile da calcolare, sebbene in un primo tempo avesse rigettato questa ipotesi. Egli vide così che l'ellisse si accordava nel miglior modo possibile alle osservazioni, quando si fosse posto il Sole in uno dei fuochi. Veniva così a stabilire la prima delle tre leggi che portano il suo nome e cioè: *Le orbite dei pianeti sono ellissi delle quali uno dei fuochi coincide col Sole.*

I greci, benché conoscessero le ellissi e le loro proprietà principali, e Apollonio avesse scritto un trattato sulle sezioni coniche, esclusero a priori che i corpi celesti potessero descrivere tali curve, dimodoché per molti secoli la teoria delle coniche non conservò che un puro interesse geometrico e a Keplero è dovuto ancora il merito di averne messa in evidenza la grande importanza fisica e riportato in auge lo studio di queste curve.

***

Nel tempo stesso in cui Keplero si affannava a considerare il cerchio eccentrico come orbita della Terra intorno al Sole, egli constatava che il pianeta si muoveva più velocemente in prossimità del perielio, e più lentamente nell'intorno dell'afelio, in modo tale che l'area descritta dal raggio vettore che congiunge il Sole alla Terra era sempre proporzionale al tempo impiegato. Il Keplero estese allora questa legge, verificata solo per gli absidi, a tutto il moto sul circolo eccentrico, e quando ebbe trovata nell'ellisse la vera forma dell'orbita di Marte, gli fu naturale ricercare se la stessa legge delle aree veniva soddisfatta per l'ellisse. I calcoli effettuati a tale scopo lo portarono alla conferma rigorosa di questa legge, detta la 2ª legge di Keplero: *Le aree dei settori ellittici descritte dal raggio vettore che dal Sole va al pianeta sono proporzionali ai tempi impiegati a descriverle.*

Le due leggi a cui ho accennato, limitatamente a Marte, furono pubblicate nel 1609 nell'opera *Astronomia Nova*. Ma il Keplero, credendo fermamente nell'armonia del creato, si convinse che tutti i pianeti, compresa la Terra, dovevano muoversi secondo queste leggi. Ripeté quindi i suoi calcoli e dopo varie prove ottenne la migliore concordanza con le osservazioni.

Nello stesso tempo egli sospettava che doveva esistere una legge più generale, riguardante il moto di tutti i pianeti nel loro insieme. Ma soltanto dieci anni dopo la scoperta delle prime due leggi, dopo vari tentativi infruttuosi, poté finalmente trovare questa legge generale, che fornisse una relazione tra le durate di rivoluzione e le distanze dei pianeti dal Sole: si tratta della 3ª legge di Keplero la quale afferma che *i quadrati dei tempi di rivoluzione dei pianeti stanno fra loro nello stesso rapporto dei cubi delle rispettive distanze medie dal Sole.*

Questa legge fu enunciata nell'opera *Harmonices Mundi*, pubblicata nel 1619, la quale porta questo titolo poiché, secondo

un'altra fantasiosa sua teoria, a cui ho già accennato, ciascun pianeta doveva emettere una specie di armonia analoga a una nota musicale, essendo l'altezza della nota proporzionale alla velocità del pianeta, e questa musica celeste era udita unicamente dal Sole.

Le tre leggi di Keplero, di fondamentale importanza nell'astronomia, permettono, come si sa, di risolvere il problema che porta il suo nome, e che egli si era proposto, di determinare cioè in ogni istante la posizione di un pianeta nel piano della sua orbita rispetto al Sole e alla direzione perielica, conoscendo il semiasse maggiore, l'eccentricità, il periodo di rivoluzione e il tempo del passaggio al perielio.

Quando il Keplero riuscì finalmente a trovare queste leggi, sublimi nella loro semplicità, egli fu preso da un'entusiastica ebbrezza scrivendo: «Quello che previdi venticinque anni sono non appena scopersi i cinque solidi fra le orbite celesti,... quello che avevo promesso ai miei amici scegliendo il titolo di questo libro,... quello che sedici anni fa insistevo essere una cosa da ricercare e che mi spinse a dedicare la parte migliore della mia vita agli studi astronomici, a cercare Ticone Brahe e a stabilirmi a Praga, finalmente l'ho dato alla luce e ne ho riconosciuto la verità con l'aiuto di Dio che ha acceso il mio entusiasmo e destato in me un irresistibile desiderio, che ha conservato fresche le mie energie intellettuali e la mia vita».

E alla fine della prefazione di quell'opera stanno le celebri parole: «Dopo diciotto mesi da quando ebbi il primo barlume di luce, tre mesi dall'alba, pochissimi giorni da quando il Sole, meraviglioso da guardare, splendette sopra di me, nulla mi trattenne. Sì, lascio piena libertà al mio furore. Trionferò dell'umanità con la onesta confessione che ho rubato i vasi aurei degli egizi per costruire con essi un tabernacolo al mio Dio ben lungi dai confini dell'Egitto. Se mi perdonate esulto. Se vi adirate con me saprò sopportare. Il dado è tratto e io scrivo il libro perché sia letto, non importa se oggi o dai posteri. Può aspettare 100 anni per trovare un lettore, come Dio ha atteso 6000 anni per un osservatore».

***

Mentre Keplero conduceva a termine la sua opera su Marte, si diffondeva la notizia che Galileo aveva scoperto quattro nuovi pianeti, ma non veniva specificato se fossero effettivamente dei pianeti o semplicemente dei satelliti. Questa nuova, poco circostanziata, doveva molto inquietare Keplero, che credeva di aver determinato il numero e la distanza dei pianeti dal Sole in relazione ai cinque poliedri regolari inscritti e circoscritti a delle sfere. Si trattava dei quattro satelliti di Giove, scoperti da Galileo coll'ausilio del suo cannocchiale, ai quali con eterna fama egli dette il nome di *pianeti medicei* e che insieme ad altre cose «grandi ed altamente meravigliose», annunciò nel suo famoso *Nuncius Sidereus*, o *Messaggero Celeste*, pubblicato nel 1610 e dedicato a Cosimo II dei Medici.

Il Keplero era portato naturalmente a dubitare della loro esistenza, poiché, egli diceva, se questi pianeti sono reali chi ci impedisce di supporre che ve ne siano una infinità di altri?

Quando Galileo inviò a Keplero, per mezzo di Giuliano dei Medici, ambasciatore di Toscana presso l'imperatore a Praga una copia del *Nuncius Sidereus*, esprimendogli il vivo desiderio di conoscere il suo parere, il Keplero, prima di avere la possibilità di osservare il cielo gli rispose con una lunga lettera dal titolo: *Dissertatio cum Nuncio Sidereo*. In essa, esponendo i suoi dubbi sulla effettiva esistenza dei satelliti di Giove, egli afferma in modo curioso: «se vi sono quattro pianeti che ruotano intorno a Giove, a distanza e in tempi diversi, ci si domanda a beneficio di chi mai se sulla superficie di Giove non c'è nessuno che percepisca coi propri occhi questo meraviglioso spettacolo? Infatti, per quanto riguarda noi che ci troviamo su questa terra, non so con quali ragioni uno mi possa persuadere a credere che quelli servono soprattutto a noi che non li vediamo mai».

In questo però Galileo aveva visto subito molto più lontano di Keplero, poiché egli presto intuì che i pianeti medicei potevano rappresentare un meraviglioso orologio per gli uomini in genere e per i naviganti in particolare. Anzi sperò che essi potessero servire per la determinazione della longitudine e a tal fine egli dedicò molti anni di intenso lavoro per determinare i periodi e compilare le relative effemeridi.

Ma quando Keplero fu in possesso di uno dei cannocchiali costruiti dallo stesso Galileo, e da questi inviato al Principe elettore di Colonia che lo passò a Keplero, pur comprendendo la difficoltà nel puntare e seguire Giove nel suo movimento, si convertì rapidamente davanti alla realtà delle cose e qualche mese dopo pubblicava un altro suo breve scritto: *Narratio de observatis a se quatuor Jovis satellibus erronibus*, nel quale, rivolgendosi con entusiasmo all'amico lettore, confermava pienamente le meravigliose scoperte galileiane e lo invitava ad ammirarle, non cessando mai di lodare Iddio per la sua opera, e terminando con la celebre esclamazione: *Galileae Vicisti!*

Galileo, dopo tale scoperta, confidava di trovare le leggi dei moti dei suoi pianeti, fino a poter predire le loro posizioni in ogni tempo passato e futuro. Ma il problema era molto arduo e Keplero lo reputò « negozio difficilissimo e quasi impossibile ». Egli ben lo sapeva, poiché essendo giunto a stabilire le sue prime due leggi, soltanto qualche anno dopo riusciva, con lunghe e laboriose ricerche, ad enunciare in *Harmonices Mundi*, la terza legge, ottenendo così tutti gli elementi necessari per determinare le orbite planetarie. Soltanto dopo la via aperta da Galileo e le scoperte di Keplero e di Newton, con lo sviluppo della Meccanica celeste, mezzo secolo dopo Gian Domenico Cassini (1625-1752), poté comporre la prima tavola, con previsioni sufficientemente precise, delle configurazioni dei pianeti medicei, tavole che pubblicate nel 1668 nell'opera *Ephemerides Bononienses Medicaeorum Siderum*, portarono tre anni dopo l'astronomo danese Römer alla misura più precisa della velocità della Luce.

*
* *

Ancora prima dell'invenzione del cannocchiale il Keplero si era occupato anche di ottica, pubblicando nel 1604 l'opera dal titolo: *Astronomia Optica.* In essa egli riteneva la luce un flusso che parte dai corpi luminosi e si immerge nell'infinito secondo linee rette, che non ha peso e la cui velocità è infinita. In particolare si occupa della luce emanata dal Sole, compie importantissime ricerche sul meccanismo della visione, e stabilisce molti teoremi e concetti fondamentali su questa teoria, quali la definizione del raggio luminoso, adottata poi generalmente nell'ottica geometrica, la spiegazione del fenomeno della riflessione della luce e una legge approssimata della rifrazione. Vi sono anche delle congetture errate sulla costituzione del Sole che egli considera come il corpo più denso della natura; ma il Keplero, che riteneva quest'astro come il motore dell'Universo, non aveva alcun mezzo per stimare la sua densità.

Quando poi il 9 ottobre del 1604 comparve improvvisamente nel cielo, nella costellazione del Serpentario una «stella nuova» il Keplero si mise ad osservarla intensamente e scrisse al riguardo l'opuscolo: *De stella nova in pede serpentarii,* col quale ci informa che quella stella andò aumentando di splendore fino a raggiungere quello di Venere. Nel gennaio 1605 essa era di prima grandezza e a metà marzo di terza; l'anno dopo non era più visibile ad occhio nudo. Oggi, con le moderne conoscenze sul fenomeno delle stelle nuove, si ritiene che quella del 1604 doveva essere una *supernova.* Il Keplero che si era domandato la spiegazione di quel fenomeno, volle attribuirvi un significato mistico, collegandolo con la triplice congiunzione di Marte, Giove e Saturno avvenuta nel 1603.

Dopo la scoperta del cannocchiale di Galileo, che il grande pisano aveva subito innalzato a dignità di strumento scientifico col rivolgerlo a interrogare i segreti e le meraviglie del cielo, il Keplero, che già era ben preparato con l'opera *Astronomia*

Optica, si dette molto da pensare e si accinse a svilupparne la teoria ideando un proprio cannocchiale detto astronomico, e pubblicando nella primavera del 1611 l'opera dal titolo: *Dioptrica*, che costituisce veramente il fondamento di una scienza ottica atta a spiegare il funzionamento delle lenti e delle loro combinazioni.

***

È interessante conoscere ancora il pensiero di Keplero sul peso, o se si vuole sulla gravità. Ogni sostanza corporea, egli dice, in quanto corporea è propria a restare in riposo in ogni luogo ove essa fosse solitaria e fuori della sfera di virtù di un altro corpo. La gravità è un'affezione corporea reciproca fra due corpi della stessa specie che li porta a riunirsi. La Terra attira la pietra, molto di più di quanto la pietra attira la Terra. Se due pietre fossero poste in un luogo del mondo, l'una vicina all'altra, e fuori della sfera di virtù di un terzo corpo della stessa natura, si riunirebbero nel mezzo dell'intervallo che le separa (2).

Il Keplero dice inoltre che se la Terra cessasse di attirare le sue acque tutto il mare si eleverebbe e si riunirebbe alla Luna. La sfera di forza attrattiva della Luna si estende fino alla Terra e trascina le acque fino alla zona torrida. L'effetto è poco sensibile nei mari chiusi, ma è molto più accentuato nei mari di grande estensione, dove il movimento alternativo delle acque ha maggiore libertà. È il fenomeno molto complesso delle maree, già conosciuto dagli antichi, che, come oggi sappiamo, è dovuto all'attrazione della Luna e del Sole sulle masse acquee terrestri. Ma il Keplero si limitava a constatare come le maree si ripetevano seguendo le posizioni della Luna, e, non conoscendo la « virtù della forza motrice », non avanzava

(2) Queste affermazioni dimostrano evidentemente l'intuizione se non l'enunciazione della legge newtoniana della gravitazione universale.

alcuna ipotesi ragionevole per spiegare l'azione di questa, che è la più forte, data la grande vicinanza della Luna alla Terra.

Galileo invece sul fenomeno delle maree, che egli chiama del flusso e riflusso, aveva delle idee del tutto errate, poiché lo attribuiva al moto della Terra ora accelerato e ora ritardato. Egli, profondo osservatore dei fenomeni naturali, aveva più volte notato come nelle barche piene di acqua dolce, per uso della città, percorrenti la laguna da Fusina a Venezia, l'acqua scorresse avanti verso la prora, o indietro verso la poppa, quando per una causa qualsiasi le barche erano costrette a rallentare o ad accelerare il loro movimento. Egli allora fa dire a Salviati, nella quarta giornata del *Dialogo dei massimi sistemi*, che il flusso e riflusso è un fenomeno analogo. Quello che fa la barca rispetto all'acqua che essa contiene è lo stesso «a capello» di quello che fa il vaso mediterraneo rispetto alle acque da esso contenute.

A questo proposito, Galileo, che stimava moltissimo Keplero, ma che dissentiva dal suo filosofare, a torto diceva: «fra tutti gli uomini grandi che sopra tal mirabile effetto di natura hanno filosofato più mi meraviglio del Keplero che di altri, il quale, d'ingegno libero ed acuto e che aveva in mano i moti attribuiti alla Terra, abbia poi dato orecchio ed assenso a predomini della Luna sopra l'acqua ed a proprietà occulte e simili fanciullezze».

***

È bene ricordare anche le strane idee che aveva il Keplero per spiegare il moto dei pianeti intorno al Sole. Egli ritiene che la virtù motrice risieda nel Sole e che vi sia una stretta connessione tra la forza motrice e la luce. Il calore e la luce sono gli strumenti coi quali il Sole comunica il movimento a tutti i pianeti. Il Keplero attribuisce un'anima al Sole, il quale emana una specie di flusso che si irradia come lungo i raggi di una ruota, e a causa della sua rotazione i raggi colpiscono i pianeti

sospingendoli nelle loro orbite. Ogni movimento deriva dunque dal Sole, al quale la propria rotazione è stata in origine impressa dal Creatore.

Il Keplero tenta di stabilire anche una relazione tra la gravità terrestre e la forza di attrazione che il Sole esercita sui pianeti, ricorrendo a concetti non molto lontani dalla gravitazione universale, ma ne è deviato, supponendo un'analogia coll'attrazione magnetica. Ritenendo poi che il Sole non irradiasse il suo influsso egualmente in tutte le direzioni, ma solo lungo i piani delle orbite planetarie, venne indotto a credere che l'influenza del Sole diminuisse in ragione inversa della distanza, anziché col quadrato di essa.

In merito alle macchie solari non risulta che Keplero abbia corrisposto direttamente con Galileo, che le aveva già osservate e pensava che esse potessero costituire una prova del sistema copernicano e certamente della rotazione del Sole attorno a se stesso. Ma quando Keplero fu a conoscenza dell'accurata discussione di Galileo e poté vederle, egli affermò di avere già previsto che il Sole doveva ruotare intorno a se stesso con un periodo più breve di quello di rivoluzione di Mercurio intorno al Sole. In quanto alla natura fisica delle macchie egli pensava che, ruotando esse con velocità diverse, non potevano essere attaccate al globo solare, pur non distandone molto. Per questa e per altre ragioni, quali la loro irregolare comparsa e scomparsa, e la mobilità della loro forma, si poteva fare l'ipotesi che fossero qualche cosa di analogo delle nubi terrestri, o delle spesse fumate che si elevano dall'interno del Sole e si dissolvono alla superficie.

Il Keplero si occupò anche del moto delle comete. Nel libro sulla fisiologia dei pianeti egli dice che come il Creatore ha voluto che l'immensa distesa dei mari fosse provvista di abitanti, così ha fatto per gli spazi celesti, disseminandoli di

un numero molto considerevole di comete. Se noi ne vediamo così poche è che esse non si avvicinano molto alla Terra.

In seguito alla comparsa di tre comete, nell'anno 1618, il Keplero pubblicava il suo trattato *De cometis*, facendo ipotesi diverse sui fenomeni da esse presentati. Egli riteneva che esse si muovessero in linea retta, spiegando così la loro comparsa e scomparsa quando passavano in vicinanza della Terra. Affermava inoltre che la luce del Sole, traversandole, trascina senza cessa delle particelle della loro sostanza, fino a dissolverle completamente. La luce del Sole, passando per il corpo di una cometa, può essere rifratta e uscire divergente, formando come due code, inclinate in senso contrario, per il fatto che le diverse parti del nucleo possono avere densità differenti. In questo modo veniva a confermare le osservazioni essere le code delle comete sempre rivolte in direzione opposta al Sole, avvicinandosi alle vedute odierne sulla natura e formazione di questo fenomeno.

***

In seguito alla mirabile scoperta dei logaritmi da parte dello scozzese Nepero, barone di Merchiston, il Keplero, vivamente colpito, si accinse a stabilire di questo algoritmo una sua teoria e, cinque anni dopo la pubblicazione del *Mirificus causa*, fece stampare nel 1624, con un pomposo titolo, l'opera *Chilias logarithmorum*. In essa egli enunciò 30 proposizioni, che però nulla aggiungevano di nuovo ai teoremi di Nepero, ma creando una base di calcolo più accurata, sebbene più laboriosa, costruì una sua tavola che gli fu molto utile per calcolare con la massima esattezza possibile l'orbita di Marte e quella degli altri pianeti, portando a compimento le famose *Tavole Rodolfine*. Dopo di allora i logaritmi si diffusero rapidamente e pertanto, se Nepero è da considerarsi l'inventore di essi, a Keplero è dovuto il merito di averne fatto uso per il primo e dimostrata l'importanza che per alcuni secoli hanno avuto nella pratica astronomia.

***

Un'altra importante opera di Keplero apparsa nel 1620, è l'*Epitome Astronomiae Copernicanae*, che doveva servire ad elevare un inno di riconoscenza al Creatore dell'Universo. In essa egli espone, quasi senza deviazioni astrologiche, la storia dell'Astronomia spiegata dal punto di vista copernicano con le scoperte di Galileo e di quelle proprie. Nella stessa opera viene affermato che le leggi fondamentali trovate per Marte valgono anche per gli altri pianeti; per la Luna che gira intorno alla Terra, come pure per i pianeti medicei intorno a Giove. Vi è inoltre esposta in dettaglio la teoria della Luna con l'evezione e la variazione ed è anche spiegato il fenomeno per cui la Luna, totalmente eclissata, appare illuminata da una debole luce generalmente rossa. Keplero giustamente suppone che la luce del Sole, attraversando l'atmosfera terrestre, venga deviata dal suo cammino tanto da essere riflessa dalla Luna. Egli parla anche della corona luminosa che appare attorno al globo solare, quando questo è totalmente eclissato dalla Luna, e tenta di darne una spiegazione razionale quale era possibile al suo tempo.

Infine devo ricordare come nel 1627 pubblicava le già menzionate *Tavole Rodolfine*, così chiamate in onore del suo protettore Rodolfo II, e dedicate alla memoria di Tycho Brahe che le aveva iniziate. Dall'epistola dedicatoria risulta che Tycho aveva sei figli, che con la vedova loro madre non ebbero altra eredità che queste tavole e le osservazioni da cui Keplero le aveva tirate. Esse sono le prime fondate sulla nuova teoria eliocentrica del moto ellittico dei pianeti, e per più di un secolo rimasero le tavole classiche in uso presso gli osservatori astronomici.

Le opere complete di Keplero, insieme con le sue lettere, coi commenti, la biografia, ecc., furono stampate a Francoforte, in un'*Opera Omnia* in otto volumi, tra il 1868 e il 1871.

***

Fra i tanti meriti che ebbe Keplero per il progresso dell'Astronomia vi è anche quello di aver considerato, sia pure in modo ancora confuso, la possibilità dell'esistenza di azioni a distanza atte a mantenere i corpi celesti come legati fra loro. Ho già detto come riteneva che il Sole per « virtù innata » irradiasse una specie di flusso che imprimeva il movimento dei pianeti sulle loro orbite e nel libro IV dell'*Epitome* scrive ancora che « non è mai stato detto finora come contro questa forza motrice del Sole esiste anche la naturale inerzia dei pianeti, la quale fa sì che essi sono propensi, a causa della materia, a rimanere nel loro posto. Pertanto combattono fra loro la forza motrice del Sole e l'impotenza del pianeta, cioè l'inerzia della sua materia. E ciascuna di queste ha la sua parte di vittoria. Quella smuove il pianeta dalla sua sede, questa sottrae alquanto il suo corpo, cioè quello del pianeta, da quei vincoli con i quali era stato preso dal Sole; sicché dall'una e dall'altra parte viene a nascere questa virtù rotatoria ».

Sono questi i concetti che racchiudono in embrione le leggi della gravitazione universale. Ma i tempi dovevano ancora maturare per arrivare alla mirabile scoperta e formulazione di quelle leggi da parte di Newton. Le tre leggi di Keplero sul movimento dei pianeti erano di carattere cinematico e nulla dicevano circa le cause che producono tali movimenti e le relazioni dinamiche che intercedono fra queste cause e gli effetti del moto. Questo doveva essere riservato a uno dei più grandi geni di tutti i tempi: Isacco Newton (1643-1727). Ma la strada alle scoperte di Newton, pubblicate nei suoi immortali *Principia*, era stata aperta, per vie diverse, dal sommo Galileo e dal geniale Keplero. Da Galileo colle sue leggi sulla caduta dei gravi e le sue grandi scoperte astronomiche, che, come ben disse il Foscolo, « all'anglo che tanta ala vi stese — sgombrò primo le vie del firmamento »; da Keplero poiché già la sua terza legge giustifica l'ipotesi che l'attrazione di un pianeta dal Sole

è inversamente proporzionale al quadrato della distanza, mentre con l'aggiunta della legge delle aree e l'ausilio del calcolo integrale si dimostra in modo rigoroso che le orbite dei corpi celesti sono in generale delle comiche, e nel caso dei pianeti, esse sono delle ellissi col Sole in uno dei rispettivi fuochi.

***

La vita di Keplero fu costellata di avvenimenti, di avversità e di sventure di ogni genere. Egli aveva sposato nella Stiria una giovane e ricca vedova, Barbara Müller, che aveva già una figlia, mentre due fanciulli, nati dall'unione con lui, gli erano morti a Graz. Dai diversi passaggi dei suoi scritti si vede che Keplero non fu mai nell'agiatezza. L'imperatore Rodolfo gli passava una pensione per condurre a termine le tavole incominciate da Tycho, ma questa pensione, assai ridotta rispetto a quella del suo maestro, gli veniva corrisposta con molto ritardo, quando non era del tutto dimenticata, per cui la vita gli divenne assai dura. Per colmo di sventura nel 1611 perdette la moglie, divenuta folle, e un altro dei cinque figli avuti da lei.

Risposatosi due anni dopo con una giovane orfana, Susanna Reuttinger, di povera condizione, ebbe altri sette figli, morti in buona parte in tenera età. Alcuni anni più tardi un'altra sciagura familiare venne a colpirlo: la madre sua, quasi settantenne, accusata di stregoneria, sottoposta a processo, stava per essere condannata alla tortura e al rogo. Egli cercò e riuscì a impedire la tortura, a far rivedere il processo e infine a far liberare la madre dal carcere; ma ciò gli costò più di un anno di viaggi, di preoccupazioni, di amarezze e di rallentamento nei propri lavori.

Alla morte dell'imperatore Rodolfo, nel 1612, il Keplero ebbe confermato il titolo di matematico di corte, ma per ottenere uno stipendio dovette contemporaneamente accettare il posto di insegnante di matematica nella scuola provinciale dell'Alta Austria con sede a Linz, ove rimase fino al 1626.

La guerra coi turchi e la lotta in Austria contro i protestanti lo costrinsero in quell'epoca a rifugiarsi prima a Rogensburg e poi a Ulm, di dove l'anno successivo passò a Sagan sotto la protezione del generalissimo Wollenstein che gli aveva promesso il pagamento degli arretrati del suo stipendio, oramai divenuti cospicui. Ma nulla poté avere se non l'offerta di un posto di professore a Rostock. Egli volle tentare ancora una volta di far valere i diritti presso la dieta imperiale che si era riunita a Ratisbona. Aveva fatto la strada a dorso di cavallo; ma, per i disagi del viaggio e le inquietudini che lo tormentavano, giunse colà ammalato, e vi morì, dopo pochi giorni di permanenza, il 16 novembre 1630.

Egli fu sotterrato, senza alcuna pompa, nel cimitero dei poveri di S. Pietro, e si crede che sulla sua tomba fosse stata posta una lapide con le parole che egli stesso aveva voluto che si scrivessero (3). Ma tre anni dopo la città era stata presa, i suoi dintorni e particolarmente il cimitero devastati, e del sepolcro di Keplero non fu più trovata alcuna traccia.

Soltanto molti anni più tardi, per iniziativa del principe primate Carlo d'Alberg di Costanza, che aveva ricevuto la sovranità di Ratisbona, fu costruito nel Giardino di Botanica di quella città, e poco lontano da dove era stato sepolto, un monumento duraturo a Keplero, che fu inaugurato il 27 dicembre del 1808, giorno anniversario della sua nascita.

Esso è costituito da una rotonda, costruita in pietra da taglio, circondato di cipressi e altre piante, e chiuso da una cancellata. La sua volta, sostenuta da otto colonne di ordine dorico, porta in alto un globo sferico, il cui asse è parallelo all'asse del mondo, e sul circuito del basamento sono scolpiti i dodici segni dello zodiaco, alternati coi simboli dei pianeti, della Luna e del Sole. Nel centro del tempietto vi è il busto di Keplero e in bassorilievo è rappresentato il suo Genio che sol-

(3) Le parole dettate da KEPLERO sono: *Mensus eram coelus — Nunc terrae metior umbras — Mens coelestis erat — Corpus umbra jacet.*

leva il velo che copriva Urania, la dea dell'Astronomia, che con una mano presenta a Keplero il cannocchiale astronomico da lui ideato, e con l'altra tiene spiegato un rotolo sul quale si scorge l'ellisse di Marte.

Opere Consultate.

J. KEPLERI, *Opera Omnia,* in 8 volumi. Edit. Chr. Frisch, Francoforte, 1848-1871.

J. DELAMBRE, *Histoire de l'Astronomie,* in 3 volumi. Parigi 1817-1822.

G. ABETTI, *Storia dell'Astronomia.* Vallecchi, Firenze, 1948.

H. J. STÖRING, *Breve istoria della Scienza,* Aldo Martelli Editore, Milano, 1956.

F. HOYLE, *L'Astronomia.* Sansoni Editore, Firenze, 1963.

F. ZAGAR, *Astronomia Sferica e Teorica.* Zanichelli, Bologna, 1948.

G. ARMELLINI, *I fondamenti scientifici della Astronomia.* Hoepli, Milano, 1952.

G. ARMELLINI, *I fondamenti scientifici della Astrofisica.* Hoepli, Milano, 1952.

G. GALILEI, *Opere,* Vol. III, Salani Editore, Firenze, 1964.

H. POINCARÉ, *La valeur de la Science.* Ernest Flammarion Editore, Parigi, 1908.

ENCICLOPEDIA TRECCANI.

Aspetti filosofici del pensiero di Keplero.

Discorso del Socio corrispondente FRANCESCO BARONE

« Se Keplero avesse dato alle fiamme tre quarti di ciò che stampava, molto probabilmente ci saremmo formati un'opinione più alta della sua capacità di comprensione intellettuale e della sua sobrietà di giudizio » (1). Così, alla fine del secolo scorso, un brillante storico dell'astronomia, Arthur Berry, riassumeva la sua valutazione critica nei confronti di Giovanni Keplero.

Nel quarto di opera che si sarebbe dovuto salvare c'erano, naturalmente, le tre leggi del moto planetario, le *Tabulae Rudolphinae,* i risultati delle ricerche di ottica e la teoria del cannocchiale, l'originale indagine matematica della *Nova stereometria doliorum vinariorum,* e qualche altra scoperta minore. Nei tre quarti che, invece, avrebbero meritato la fiamma purificatrice c'era tutto ciò che riguardava, potremmo dire, la filosofia di Keplero, intesa come la sua visione del mondo tutta permeata, all'interno della fede cristiana, dalla concezione platonico-pitagorica della matematica e della realtà. È tale sopravvivenza di quello che è ritenuto un arcaico atteggiamento cabalistico e mistico ciò che predomina negli scritti kepleriani, che avvolge e quasi soffoca le gemme scientifiche; le quali, per dirla con il Berry, « sono gravate da masse di speculazione sfrenata, di fantasie mistiche ed occulte, di astrologia, di profezie del tempo e simili, che sono non soltanto prive di

(1) ARTHUR BERRY, *A Short History of Astronomy From Earliest Times Through the Nineteenth Century,* London 1898; rist. in Dover Publications, New York 1961, p. 197.

valore dal punto di vista dell'astronomia moderna, ma che — diversamente da molte speculazioni erronee od imperfette — non indicavano in alcun modo la direzione verso cui la scienza era prossima a progredire e che dovevano sembrare altrettanto malsane ai contemporanei di mente equilibrata, come un Galileo, quanto lo sembrano a noi».

Il giudizio del Berry non ha nulla di particolarmente originale. Mi sono soffermato su esso soltanto come esempio di un'opinione molto diffusa dai tempi di Keplero sino al nostro secolo (2). È significativo che Galileo, oltre a non leggere gli scritti di Keplero, si sentisse spinto a dichiarare ad un suo corrispondente: «Io ho stimato sempre il Keplero per ingegno libero (e forse troppo) e sottile, ma che il mio filosofare è diversissimo dal suo e che può essere che scrivendo delle medesime materie, solamente però circa i movimenti celesti, habbiamo talvolta incontrato in qualche concetto simile, se ben pochi, onde habbiamo assegnato di alcuno effetto vero la medesima ragione vera; ma questo non si verificherà di uno per cento dei miei pensieri» (3). Via via che si veniva rafforzando la convinzione che il compito della scienza consistesse soltanto nella determinazione di fatti, tanto più la visione estetica e metafisica di Keplero era ritenuta speculazione chimerica. Laplace considerò addirittura «mortificante per lo spirito umano» (4) l'entusiasmo con cui nell'*Harmonice Mundi* è inseguita l'idea di un'armonia cosmica. Storia e metodologia della scienza paiono spesso concordi su un punto: c'è da stupirsi del fatto che Keplero sia pervenuto a risultati di valore scientifico, *nonostante la sua filosofia*.

---

(2) Si vedano circa la «fortuna» di Keplero le pp. 465-66 di MAX CASPAR, *Johannes Kepler*, Stuttgart (1948) 1958^3, e le pp. 308-10 (nella trad. italiana, *La rivoluzione astronomica*, Milano 1966) di ALEXANDRE KOYRÉ, *La révolution astronomique*, Paris 1961.

(3) Lettera a Fulgenzio Micanzio, del 19 Novembre 1634, in G. GALILEI, *Opere*, ed. nazionale, vol. XVI, p. 163.

(4) Cfr. MAX CASPAR, *Johannes Kepler*, op. cit., p. 466.

Ed è singolare che talvolta anche coloro che si sentono attratti dalla filosofia di Keplero ribadiscano, magari inconsapevolmente, la tesi che tale filosofia sia inconciliabile con l'autentica mentalità e ricerca scientifica. Si trascura il fatto che la concezione meccanicistica della scienza moderna ha trovato un forte impulso proprio in Keplero — che vede infine la natura *instar horologii* e non più *instar divini animalis* (5) —, e si crede di scorgere nella filosofia kepleriana una difesa, in anticipo, contro il meccanicismo. Così, ad esempio, Novalis: « Ritorno a te, nobile Keplero, il cui senno superiore si creò un universo spiritualizzato e morale, mentre invece nei nostri tempi è ritenuta sapienza il mortificar tutto, l'abbassare ciò che è alto anziché sollevare ciò che è basso, e il piegare lo stesso spirito dell'uomo sotto le leggi del meccanismo » (6). Alla filosofia di Keplero parrebbe dunque che ci si potesse rivolgere solo in nome di quei valori spirituali che si ritengono minacciati dalla scienza.

Tutto ciò è così strano, così forzatamente dilacerante la personalità di Keplero, che sorge il dubbio circa la sostenibilità della pur tanto diffusa contrapposizione tra l'aspetto scientifico e l'aspetto filosofico del pensiero di Keplero. All'esame di questo dubbio dedico il mio breve contributo, confortato anche dal fatto che nella letteratura critica più recente la cosiddetta contrapposizione è negata da più parti (7).

---

(5) Cfr. JOHANNES KEPLER, *Opera omnia*, ed. CH. FRISCH, Frankfurt 1858-71, vol. II, p. 84.

(6) Cfr. MAX CASPAR, *Johannes Kepler*, op. cit., p. 466.

(7) Si veda in proposito: E. J. DIJKSTERHUIS, *De mechanisering van het wereldbeeld*, Amsterdam 1950, trad. tedesca, *Die Mechanisierung des Weltbildes*, Berlin 1956, pp. 337-59; THOMAS S. KUHN, *The Copernican Revolution. Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*, Cambridge Mass. 1957, pp. 209-19; ALEXANDRE KOYRÉ, *La rivoluzione astronomica*, op. cit., pp. 99-390. Una sostanziale adesione al giudizio tradizionale, sebbene temperata dalla simpatia per il suo autore, si ha invece in Max Caspar, il maggior studioso di cose kepleriane (e che, tra l'altro, iniziò nel 1937 a Monaco con Walter von Dyck l'edizione dei *Gesammelte Werke* di Keplero): « La tensione tra le sue speculazioni

La prima considerazione da fare è che la contrapposizione di aspetto scientifico e di aspetto filosofico attribuita a Keplero è sì di un manifesto carattere storico, ma che essa si radica in effetti in una più generale concezione teorica circa la natura della scienza. Si dilacera la personalità di Keplero perché si è convinti che la scienza autentica — come descrizione e ordinamento legale di fatti empirici — deve necessariamente prescindere da ogni visione del mondo, da ogni *Weltanschauung*. Una visione del mondo è sempre qualcosa di mitico, di prescientifico. Si tratta della ben nota concezione «positiva» o «positivistica» della scienza, tipica dell'Ottocento, ma che ha avuto precedenti illustri e sviluppi molto noti anche nella metodologia scientifica novecentesca.

Il celebre motto newtoniano — «Hypotheses non fingo» (8) — è stato spesso preso a simbolo di tale atteggiamento. È «ipotesi» tutto ciò che non è ricavabile dai fenomeni e nella scienza sperimentale (9) «non trovano posto le ipotesi sia metafisiche, sia fisiche, sia delle qualità occulte, sia meccaniche»; le sue «proposizioni sono dedotte dai fenomeni e sono rese generali per induzione». Di fronte a questo credo empiristico, Keplero con il suo apriorismo pare ancora di qua dalla scienza, anche se talvolta riesce a varcarne i confini. E tanto più pare così quanto più si rafforza il credo empiristico, come in molta metodologia novecentesca che fa della ricavabilità dai dati empirici il criterio stesso di significanza dei concetti che la scienza può usare, oltre l'apparato di trasformazioni logiche

---

metafisiche e le sue ricerche esatte fa riconoscere la cospicua polarità nella disposizione spirituale di Keplero» (*Johannes Kepler*, op. cit., p. 459).

(8) Cfr. Isaac Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1713²), trad. italiana, *Principi matematici della filosofia naturale*, Torino 1965, Scolio generale, pp. 795 e 796.

(9) Newton (op. cit., p. 796) dice «filosofia sperimentale», così come all'inizio del libro III aveva parlato di «regole del filosofare». Ma è evidente che tale terminologia indica la «filosofia naturale» come «ricerca fisica», ossia ciò che noi ora chiamiamo «scienza sperimentale».

della matematica. I concetti d'uso sperimentale non definibili in base ai dati vanno banditi come privi di senso: e tale, in questa prospettiva, appare la speculazione kepleriana.

Orbene, il principio dell'empirismo non è affatto, come spesso si ritiene, una proposizione scientifica, ma è una tesi filosofica che rispecchia una visione del mondo in modo del tutto analogo (anche se con contenuto diverso) all'apriorismo platonico-pitagorico di Keplero. Certo l'appello all'esperienza è stato un tema costante dall'inizio della scienza moderna, nel senso di un controllo sperimentale delle teorie; e ciò può aver indotto coloro che riflettevano sulla metodologia scientifica a spingere l'esigenza di controllo sino alla proibizione di ammettere qualcosa non ricavabile induttivamente dai dati. La garanzia contro le tentazioni metafisiche era così assoluta. Ma è una garanzia troppo forte, che se fosse stata presa sul serio avrebbe di fatto bloccato la ricerca scientifica.

Per lo scienziato è indispensabile «inventare» ipotesi: e lo stesso Newton, nonostante il celebre motto (che va visto nella particolare situazione storica) ne ha genialmente inventate. Ed il controllo empirico in base ai dati non implica affatto che i concetti teorici di cui si vale la scienza (ed è difficile trovare tipi di concetti che non siano in qualche grado «teorici», poiché sono tali, ad esempio, sia «campo» sia «solubile» sia «lunghezza») siano definibili esaustivamente sulla base del materiale osservativo. Anzi le ricerche recenti sulla definizione hanno mostrato che ciò è impossibile (10).

Il principio dell'empirismo, lungi dall'essere una proposizione della scienza, si mostra invece nella sua estrema forma radicale come una cattiva filosofia della scienza: è infatti inadeguato a rendere conto della possibilità di ciò che effettivamente accade nella ricerca scientifica. La storia della scienza si è mostrata molto utile nel disvelare le illusioni ed i miti della

---

(10) Tra i molti scritti in proposito, si veda, nella trad. italiana, CARL G. HEMPEL, *La formazione dei concetti e delle teorie nella scienza empirica*, a cura di A. PASQUINELLI, Milano 1961.

metodologia empiristica. La visione platonica e pitagorica del mondo — cioè la convinzione che la natura creata sia strutturata matematicamente e che quindi si apra alla conoscenza matematica dell'uomo — è stato un elemento decisivo per il sorgere e l'affermarsi della scienza moderna. Il metodo sperimentale non si è costituito ricavando induttivamente dall'esperienza i concetti teorici della scienza, bensì sottoponendo al controllo empirico — alla «verificazione» o, come oggi si preferisce dire, alla possibilità di «falsificazione» (11) da parte dell'esperienza — le teorie elaborate *a priori* proprio sulla base della concezione filosofica del mondo. Ciò è chiaramente visibile nelle motivazioni che Copernico dà per l'abbandono del geocentrismo a favore della teoria eliocentrica; ed è altrettanto percepibile a proposito del pur «positivo» Galileo, sia nelle sue argomentazioni astronomiche sia nel metodo illustrato dai *Discorsi intorno a due nuove scienze.* Ma l'esempio più completo e convincente di tale situazione è dato proprio dall'opera di Keplero. Il giudizio del Berry, credo, può essere rovesciato: senza i tre quarti filosoficamente speculativi dell'opera kepleriana non avremmo forse nemmeno quel quarto a cui si riconosce valore scientifico per i suoi risultati quantitativi obiettivamente controllabili.

Che ciò non sia una forzatura appare subito attraverso una semplice considerazione biografica. Nel caso di Keplero non è applicabile quella chiave interpretativa che è stata usata per molti pensatori e scienziati: l'attribuzione al loro periodo giovanile delle più ardite speculazioni metafisiche, abbandonate poi via via ch'essi progredivano verso la maturità, per essere sostituite da una mentalità sempre più seria e rigorosa. Ciò non vale per Keplero. È vero infatti ch'egli pubblica venticinquenne (nel 1596) il *Mysterium cosmographicum,* in cui è

(11) Sulla «falsificabilità» come criterio della scienza empirica, si veda KARL RAIMUND POPPER, *Logik der Forschung* (1935), ed. inglese *The Logic of Scientific Discovery* (1959), trad. italiana, *Logica della scoperta scientifica,* Torino 1970.

delineata appieno la sua visione nel mondo, mentre poi in seguito non cura gli altri scritti cosmografici a cui pure accennava il titolo completo di quest'opera (12), e il suo interesse pare concentrarsi su temi più tecnici e rigorosi (del 1604 è la trattazione ottica dei *Ad Vitellionem paralipomena* e del 1609 l'*Astronomia nova*, di cui è celebre l'utilizzazione dei dati osservativi di Tycho Brahe per la determinazione dell'orbita di Marte). Ma ciò non significa affatto l'abbandono della metafisica originaria, che ha anzi condizionato dall'interno tutta l'attività kepleriana. Tale metafisica, infatti, riappare potenziata ed affinata nei cinque libri dell'*Harmonice Mundi* (1619) e nei sette libri dell'*Epitome astronomiae copernicanae* (usciti tra il '17 e il '21), che è stata giudicata «l'ultima grande opera di Keplero, la più matura, la più sistematica, la più compiuta» (13).

All'inizio del libro IV dell'*Epitome* (uscito nel '20) è ripresa l'analogia tra il cosmo e la Trinità già posta a base della sua indagine cosmografica nel *Mysterium*, un quarto di secolo prima. Nella prima opera aveva affermato: «Tre erano soprattutto le cose di cui senza tregua cercavo le cause, perché fossero così e non diversamente, cioè il numero, le dimensioni e i moti degli orbi. Ad osare ciò mi convinse la mirabile corrispondenza delle cose immobili, ossia il Sole, le fisse e lo spazio intermedio, con Dio Padre, il Figlio e lo Spirito Santo: svilupperò più ampiamente tale analogia nella mia cosmografia» (14). E nell'*Epitome*

---

(12) *Prodromus dissertationum cosmographicarum continens Mysterium cosmographicum, de admirabili proportione orbium coelestium, deque causis coelorum numeri, magnitudinis, motuumque periodicorum genuinis et propriis, demonstratum per quinque regularia corpora geometrica*. Sul progetto di ulteriori trattati cosmografici, cfr. la lettera a Herwart von Hohenburg, del 26 Marzo 1598, in *Gesammelte Werke*, vol. XIII, p. 190.

(13) ALEXANDRE KOYRÉ, *La rivoluzione astronomica*, op. cit., p. 237. Cfr. anche pp. 369-370.

(14) Cfr. *Mysterium cosmographicum*, in *Gesammelte Werke*, vol. I, p. 9. Si veda anche la lettera a Michael Maestlin, del 3 Ottobre 1595, in *Gesammelte Werke*, vol. XIII, pp. 35 sg.

riprende questa analogia d'origine cusaniana: « Nella sfera, immagine di Dio creatore e archetipo del mondo..., ci sono tre regioni, simboli delle tre persone della SS. Trinità: il centro, simbolo del Padre, la superficie, simbolo del Figlio, e l'intervallo, simbolo dello Spirito Santo; per ciò furono create altrettante parti principali del mondo, ciascuna in una regione particolare della sfera: il Sole nel centro, la sfera delle fisse nella superficie e, infine, il sistema dei pianeti nella regione intermedia tra il Sole e le stelle fisse » (15).

Anche l'altra celebre tesi del *Mysterium cosmographicum*, quella della determinazione del numero dei pianeti e della grandezza delle loro orbite sulla base della relazione tra gli orbi planetari e i cinque poliedri regolari o « cosmici », non è affatto scomparsa nella maturità di Keplero. Egli conserva sempre l'architettura cosmica per cui la sfera di Saturno è circoscritta al cubo in cui è inscritta la sfera di Giove; e se in essa è inscritto il tetraedro, questo circoscrive la sfera di Marte, che circoscrive a sua volta il dodecaedro, il quale contiene la sfera della Terra, inglobante l'icosaedro, che contiene la sfera di Venere, circoscrivente infine l'ottaedro con la sfera inscritta di Mercurio: al centro, immobile, il Sole. È questa architettura che vien ripresa, nelle sue linee generali, nel libro quinto, « *astronomicus et metaphysicus* » (16), dell'*Harmonice mundi*: « ... Ricordi il lettore, dal mio *Mysterium cosmographicum*, che pubblicai or sono ventidue anni, che il numero dei pianeti, o orbi, i quali circondano il Sole fu ricavato dal Creatore sapientissimo dai cinque solidi regolari, sui quali Eucliede, molti secoli fa, scrisse un libro detto degli *Elementi*... Per quanto concerne la proporzione delle orbite dei pianeti, il rapporto tra due orbite prossime, come sarà facile vedere, è sempre tale che esse sono *approssimativamente* proporzionali agli orbi dei cinque corpi

---

(15) Cfr. *Epitome*, libro IV, parte I, in *Gesammelte Werke*, vol. VII, p. 258.

(16) Così viene chiamato nel lunghissimo titolo originale dell'opera.

solidi, cioè al rapporto tra l'orbe circoscritto al corpo e l'orbe inscritto in esso; *ma tuttavia tale rapporto non sarà identico, come osai promettere una volta, in vista del compimento dell'astronomia*» (17).

L'unico mutamento è rivelato da quest'ultima frase e da quell'«approssimativamente». Quando Keplero poté disporre degli agognati dati osservativi di Tycho non ottenne le conferme sperate (18) della sua architettura archetipa. Ma ciò non lo indusse affatto ad abbandonare il progetto ed a seguire il consiglio che Tycho gli aveva dato dopo la lettura del *Mysterium* (19), cioè di cercare *a posteriori* e non *a priori* l'armonia e la proporzione dell'ordinamento cosmico. Egli riconosce solo più un valore approssimativo alla sua architettura archetipa; ma tuttavia la conserva e la completa inserendola in una struttura archetipa ancora più universale, quella dei numeri e dell'armonia musicale. È questo, infatti, il tema dominante dell'*Harmonice mundi.* Non si può trovare *a posteriori* un'armonia (cioè, una qualsiasi legge) se non si è consci *a priori* di poterla cercare. Sin dalle origini della sua riflessione Keplero era convinto che i suoi presentimenti e supposizioni non fossero fonte d'errore, perché «l'uomo è un'immagine di Dio» e può sentire come Dio di fronte alle cose che sono l'ornamento del mondo. Questo «partecipa della quantità» e lo spirito dell'uomo «nulla comprende meglio delle quantità, per la cui conoscenza è visibilmente creato» (20).

---

(17) Cfr. *Harmonices mundi libri V,* libro V, cap. 3, in *Gesammelte Werke,* vol. VI, p. 297 (corsivo mio). Si veda anche *Epitome,* in *Gesammelte Werke,* vol. VII, pp. 273 e 275.

(18) Cfr. lettera ad Antonio Magini, del 1º Giugno 1601, in *Gesammelte Werke,* vol. XIV, p. 173: «Non posso elaborare l'armonia del mondo se non mediante l'astronomia restaurata attraverso Tycho».

(19) Cfr. lettera di Tycho Brahe a Keplero, del 9 Dicembre 1599, in *Gesammelte Werke,* vol. XIV, pp. 94 sgg.

(20) Lettera a Herwart von Hohenburg, del 14 Settembre 1599, in *Gesammelte Werke,* vol. XIV, p. 73.

Tutte le ricerche di proporzioni ed armonie nell'*Harmonice mundi* dipendono da questa convinzione. Alla maggior parte di noi essa può apparire oggi strana ed inaccettabile; ed anche chi fosse disposto ad accettare il presupposto di un'armonia cosmica, forse sarebbe restio ad ammettere la sua disvelabilità nel senso di Keplero. Ma non è lecito giudicare della fertilità scientifica di un metodo solo sulla base dei modelli metodologici a noi più vicini. Quella convinzione kepleriana portò di fatto a un grande risultato scientifico, cioè a quella che è nota come la terza legge di Keplero, e secondo la quale il rapporto tra i quadrati dei periodi orbitali di due pianeti è eguale al rapporto tra i due cubi delle loro distanze medie dal sole. Almeno ai tempi di Keplero tale legge non portava niente di nuovo alla teoria dei pianeti quale già era stata fissata nell'*Astronomia nova*, né permetteva calcoli di quantità prima sconosciute. Eppure fu la legge che più affascinò Keplero, perché, dal suo punto di vista, la proporzione che determinava era essa stessa una spiegazione dell'architettura cosmica. Si trattava infatti di una legge che non concerneva le singole orbite planetarie, bensì i loro rapporti. È vero che, assieme alla terza legge, noi troviamo nell'*Harmonice mundi* una molteplicità di altre leggi o armonie, che furono poi trascurate dall'astronomia posteriore, perché ad esse non si adattavano i dati osservativi. Si fa qui valere il principio del *controllo* empirico delle teorie. Ma non si deve dimenticare che l'atteggiamento mentale e scientifico di Keplero è identico sia per ciò che riguarda la «legge» che noi accettiamo, sia per ciò che concerne le «pseudo-leggi» che noi rifiutiamo. Non si può accettarlo in un caso come «scientifico» e respingerlo nell'altro come «antiscientifico». Non muta il suo modo di «inventare» teorie, convalidato dal fatto che qualcuna ha talvolta la conferma empirica e per niente infirmato dal fatto che alcune di esse siano invece falsificate dall'esperienza. Forse Keplero, nel suo entusiasmo, non sempre ebbe vivo il senso della fallibilità nel far scienza, ma ciò non tocca la portata scientifica del suo teorizzare alimentato dalla filosofia.

Penso, a questo punto, ad un'obiezione che facilmente potrebbe essere sollevata. Perché — mi si potrebbe chiedere — insistere tanto sull'*Harmonice mundi*? Ammettiamo che in quest'opera sia molto importante la concezione platonico-pitagorica di Keplero e che essa quindi abbia avuto gran peso nella formulazione della terza legge. Ma il «vero» aspetto «scientifico» del pensiero di Keplero non è forse altrove, cioè nell'*Astronomia nova*? È qui che vengono elaborate le prime due leggi del moto planetario; e tutti sanno — perché è Keplero stesso a narrarcelo — quanto sia stata lunga, difficile e laboriosa l'impresa di «catturare» (21) Marte, determinandone l'orbita. Le difficoltà dell'impresa erano nate dal fatto che si trattava di trovare un'orbita che soddisfacesse ai dati osservativi elencati da Tycho Brahe. E l'una dopo l'altra venivano eliminate da Keplero le orbite che via via proponeva, anche quando lo scarto tra i valori calcolati e quelli osservati nella posizione di Marte era di solo otto minuti d'arco (22), mentre Tolomeo e Copernico si erano entrambi già accontentati di un'approssimazione di dieci minuti. Non è forse qui — potrebbe chiedere il mio obiettore — l'esempio genuino di un effettivo metodo scientifico, che procede *a posteriori* (secondo il consiglio di Brahe) e non *a priori* e partendo da presupposti filosofici?

La mia risposta è che anche nell'*Astronomia nova*, seppure in modo meno appariscente, è operante e in modo decisivo la concezione filosofica di Keplero. La stessa esigenza di rigore — che porta a non accettare uno scarto di otto minuti — è già frutto della convinzione che il mondo è strutturato matematicamente e che la scienza deve quindi pretendere l'esattezza estrema. Non si tratta soltanto di «salvare i fenomeni» con una certa approssimazione, bensì di spiegarli precisamente

---

(21) Il linguaggio guerresco per la vittoria su Marte è usato da Keplero nell'«Epistola dedicatoria» dell'*Astronomia nova* all'imperatore Rodolfo II, cfr. *Gesammelte Werke*, vol. III, pp. 6 sgg.

(22) Cfr. *Astronomia nova*, cap. XIX, *Gesammelte Werke*, vol. III, pp. 177 sgg.

secondo le loro cause (23). E le cause sono di natura matematica e non ammettono, in linea di principio, approssimazioni.

Quanto alle leggi astronomiche stabilite nell'*Astronomia nova* — e che sono note come la prima legge di Keplero (i pianeti si muovono lungo orbite ellittiche di cui il Sole occupa uno dei fuochi) e la seconda legge di Keplero (proporzionalità al tempo delle aree descritte dal raggio vettore eliocentrico del pianeta) — sono state determinate di fatto in ordine cronologico inverso durante l'annosa elaborazione dell'opera. E ciò ha un suo preciso significato.

Alla determinazione della legge delle aree Keplero era infatti già indirizzato non tanto da una serie di osservazioni, quanto piuttosto dalla convinzione già espressa nel *Mysterium cosmographicum* che la centralità del Sole nell'architettura cosmica ha anche una funzione causale: « C'è una sola anima motrice posta nel centro di tutti gli orbi, cioè nel Sole, la quale sospinge ogni corpo e, precisamente, con maggior forza quelli che le sono vicini e più debolmente i lontani, in proporzione all'attenuazione della forza con la distanza » (24). Questa legge — che può essere detta della velocità inversamente proporzionale alla distanza — è la prima ad essere formulata anche nell'*Astronomia nova*, quando vien posto il problema della causa che muove i pianeti: ed è stata sempre ritenuta da Keplero (sebbene erroneamente) come equivalente alla più tarda legge delle aree (25). Certo nell'*Astronomia nova* il moto planetario ha una spiegazione più « meccanica », perché non si parla più di anima motrice e si cerca di spiegarne la causa con l'analogia della leva e del magnete. Tuttavia l'orientamento di

---

(23) Così suona il titolo completo dell'opera: *Astronomia nova ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ, seu physica coelestis tradita commentariis de motibus stellae Martis ex observationibus G. V. Tychonis Brahe.*

(24) *Mysterium cosmographicum*, cap. XX, in *Gesammelte Werke*, vol. I, p. 70.

(25) In effetti, le due leggi nel calcolo delle posizioni planetarie portano quasi alle stesse predizioni.

fondo non è cambiato. Ce lo dice lo stesso Keplero in una nota aggiunta nella seconda edizione (1621) del *Mysterium*: « Se si sostituisce la parola « anima » con la parola « forza » si ha proprio lo stesso principio su cui è costruita la fisica celeste nei commentari di Marte » (26). Ancora una volta la filosofia platonica è stata scientificamente fertile per Keplero.

Ed anche la prima legge, quella della ellitticità delle orbite, a cui Keplero giunge attraverso una serie di tentativi falliti e dopo aver determinato la legge delle aree, non è affatto, come s'è spesso ripetuto, il solo frutto dell'osservazione e del calcolo. Per poter calcolare la forma dell'orbita a partire dai dati osservativi di Tycho, Keplero abbisognava di una legge della velocità del moto del pianeta. E per ciò avevano gran peso le sue presupposizioni filosofiche. Fino a Keplero gli astronomi avevano dato per scontata la legge del movimento uniforme delle sfere o dei cerchi che portano un pianeta lungo la sua orbita: e solo con tale presupposto indiscusso avevano potuto calcolare orbite che si accordassero in qualche modo con i dati osservativi. L'orbita da sola, senza la legge di velocità, non permetterebbe di stabilire a che punto della sfera celeste si trovi un pianeta in un certo istante. Keplero respinge il vecchio postulato del moto uniforme: se non l'avesse sostituito con la sua legge della velocità inversa alla distanza e, poi, con la legge delle aree, nessun dato osservativo gli avrebbe permesso di calcolare l'orbita. E noi sappiamo quale peso abbia avuto sulla formulazione della legge delle velocità la sua concezione platonico-pitagorica. È assai probabile che lo stesso abbandono del presupposto dell'uniformità del moto planetario sia avvenuto in base all'intuizione della nuova legge. Dal puro insieme dei dati osservativi di Tycho, Keplero non avrebbe

(26) Cfr. *Mysterium cosmographicum*, seconda edizione, 1621, nota *c* al cap. XX, in *Opera omnia*, cit., vol. I, p. 176. V. anche la trad. tedesca del *Mysterium* a cura di MAX CASPAR, *Das Weltgeheimnis*, München-Berlin, 1936, p. 129.

potuto « indurre » alcuna legge; in realtà, egli li analizzava già alla luce delle sue ipotesi d'origine filosofica.

Dai soli dati non si ricavano teorie; ma v'è di più: anche lo stesso controllo delle teorie mediante i « fatti » dell'esperienza, va considerato con molta prudenza, perché spesso i cosiddetti « fatti » con cui si corrobora o si respinge una teoria sono già tutti permeati di componenti teoriche, interpretative e filosofiche (27). Anche su questa questione l'opera di Keplero ci offre una documentazione interessante, quasi la controprova che il richiamo all'esperienza non è sufficiente a costruire la validità di una teoria.

È noto che Keplero non condivise quelle interpretazioni del copernicanesimo che — come quella del Bruno — portavano all'affermazione dell'infinità dell'universo. A ciò si opponeva la sua concezione religiosa e filosofica che già abbiamo ricordato: il cosmo ha una sua forma che è espressione di Dio, ed essa andrebbe persa in un universo infinito, uniforme e, per ciò stesso, privo di forma. Se questo è il motivo profondo per cui Keplero respinge l'infinità dell'universo — e già qualcuno potrebbe intonare il consueto motivo della filosofia che blocca la scienza sul cammino del progresso —, le argomentazioni con cui egli sostiene la finitezza del cosmo sono tuttavia di natura completamente diversa: sono schiettamente empiriche, di quell'empiria di cui parrebbe impossibile contestare la « scientificità ». Quando nell'autunno del 1604 comparve una nuova stella, era stato sostenuto che la *nova* provasse l'infinità dell'universo. Keplero prese posizione sul significato di tale comparsa in *De Stella nova in pede Serpentarii* (28), e respinse la teoria infinitista, in base alle caratteristiche della visione ad

---

(27) Si veda, ad esempio, sull'« indubitabilità » delle esperienze che per gli aristotelici falsificavano la teoria di Copernico e sulla confutazione galileiana di tale « indubitabilità », PAUL K. FEYERABEND, *I problemi dell'empirismo*, trad. italiana, Milano 1971.

(28) Sulla *nova* Keplero pubblicò un breve resoconto in tedesco già nel 1604, poi, nel 1606, il libro *De Stella nova in pede Serpentarii*.

occhio nudo, secondo la quale anche il diametro apparente delle stelle dipende dalla loro grandezza e distanza. Un osservatore su una stella fissa vedrebbe il cielo differente da come lo vede un osservatore terrestre: così non si può ammettere l'uniformità e omogeneità di un universo infinito. È vero che l'esperienza visiva a cui si appella Keplero è quella della visione ad occhio nudo e che dopo l'uso e l'accettazione del telescopio, l'esperienza «mostrerà» che il diametro apparente delle stelle non dice nulla circa la loro grandezza e distanza. Ma ciò che ci interessa dal punto di vista del metodo è che si tratta della stessa esperienza di visione ad occhio nudo che aveva fornito i dati di Tycho Brahe. Nel caso dell'ellitticità dell'orbita confermava una teoria in seguito accettata dalla scienza; nel caso dell'infinità dell'universo falsificava invece un'altra teoria che la scienza avrebbe in seguito riproposta. Com'è dunque possibile rivolgersi all'esperienza come al tribunale non più appellabile della validità scientifica?

In genere i centenari sono soltanto occasioni celebrative esteriori. Il quarto centenario della nascita di Keplero è anche, per un caso fortunato, qualcosa di diverso. Cade in un momento in cui la metodologia scientifica, scaltrita dall'esperienza storiografica, s'è avviata decisamente a riconoscere l'illusorietà della concezione empiristica della scienza. Una riflessione sull'opera di Keplero, anche fuori dell'occasione celebrativa, ci aiuta a riconfermare la validità delle nuove prospettive metodologiche che si vengono aprendo. Oltre all'imponente messe di risultati scientifici essa ci ha lasciato l'eredità di una lezione indimenticabile: l'avventura del far scienza è così tentativa e insicura che, pur essendo meritorio cercare di tratteggiare i caratteri salienti delle vie battute, è tuttavia vano credere di poter fissare una volta per tutte la presunta unica strada maestra che sia lecito percorrere. Parafrasando Amleto, potremmo dire che ci sono più cose nel concreto far scienza di quante se ne sognano nella nostra metodologia.

Il discorso del prof. Giuseppe Colombo su « Giovanni Keplero, dalla magia alla scienza » è pubblicato dall'Accademia Nazionale dei Lincei.